

ENGLISH ABSTRACT FOR JP 10-83006 FROM INPADOC

1/1 PLUSPAT - (C) QUESTEL-ORBIT

Patent Number:

- JP10083006 A 19980331 [JP10083006]

Title:

- (A) MAPPING METHOD FOR COLOR DISPERSION WITHIN OPTICAL FIBER SPAN

Patent Assignee:

- (A) LUCENT TECHNOLOGIES INC

Inventor(s):

- (A) MAMYASHEV PAVEL M; MOLLENAUER LINN FREDERICK

Application Details:

- JP19166097 19970716 [1997JP-0191660]

Priority Details:

- US68222996 19960717 [1996US-0682229]

IPC (issuing Office):

- (A) G01M-011/02 G02F-001/35

Publication Stage:

- (A) Doc. Laid open to publ. Inspec.

Abstract:

- PROBLEM TO BE SOLVED: To make it possible to measure color dispersion parameters as a function of the distance of optical fibers by measuring the frequency of intense oscillation within a sample of a probe signal formed by a 4-wave mixing process which connects photons having the first wavelength and second wavelength as a function of the distance of the optical fibers.

- SOLUTION: Fixed input signals λ_1 , λ_2 are formed by cw sources 12, 14. Then, the first and second light pulses with the fixed wavelengths λ_1 , λ_2 are repeatedly injected into fibers for testing to form the probe signal by the 4-wave mixing process within the fibers. The power of the probe signal is oscillated with spatial frequency which is measurable as a function of the distance within the optical fibers by mismatching of the wave vector phase. This intense oscillation is measurable as a timewise fluctuation within Rayleigh back scattered light which is detectable at the input end of the optical fibers. By this method, the dispersion parameters of the first and second optical signals are directly obtained from measured values of this intense oscillation as a function of the length of the optical fibers.

- COPYRIGHT: (C)1998,JPO

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平10-83006

(43) 公開日 平成10年(1998) 3月31日

(51) Int.Cl.⁶

G 0 2 F 1/35

G 0 1 M 11/02

識別記号

庁内整理番号

F I

G 0 2 F 1/35

G 0 1 M 11/02

技術表示箇所

K

J

審査請求 未請求 請求項の数18 O L (全 9 頁)

(21) 出願番号 特願平9-191660

(22) 出願日 平成9年(1997) 7月16日

(31) 優先権主張番号 6 8 2 2 2 9

(32) 優先日 1996年7月17日

(33) 優先権主張国 米国 (U S)

(71) 出願人 596077259

ルーセント テクノロジーズ インコーポ
レイテッド

Lucent Technologies
Inc.

アメリカ合衆国 07974 ニュージャージ
ー、マレーヒル、マウンテン アベニュー
600-700

(72) 発明者 バヴェル エム、マミーシェフ

アメリカ合衆国, 07748 ニュージャージ
ー、ミドルタウン、ノルウッド ドライブ
1210

(74) 代理人 弁理士 三俣 弘文

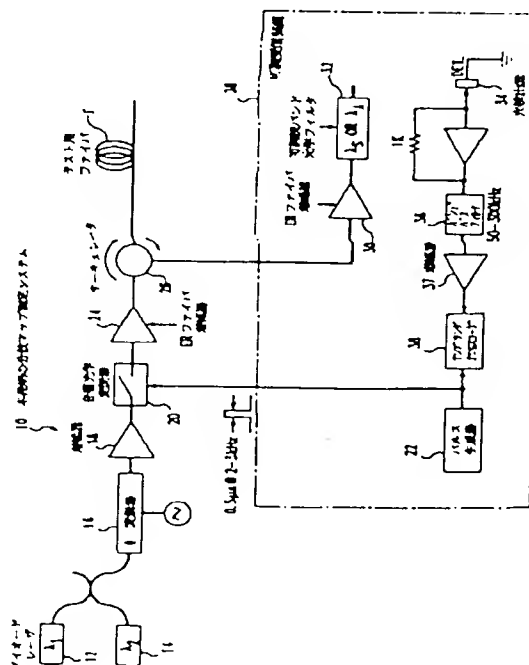
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光ファイバスパン内の色分散をマッピングする方法

(57) 【要約】

【課題】 色分散パラメータを光ファイバのある区間の距離の関数として測定するシステムと方法を提供する。

【解決手段】 第1と第2の光パルス进行测试用光ファイバに繰返し注入して、ファイバ内の4波ミキシングプロセスによりプローブ信号を生成する。波ベクトル位相ミスマッチにより、プローブ信号のパワーは、光ファイバ内の距離の関数として測定できる空間周波数をもって発振する。この強度発振は、光ファイバの入力端で検知できるレーレイ後方散乱光内の時間的変動として測定できる。本発明によれば、第1と第2の光信号波長の一方あるいは両方の分散パラメータは、光ファイバの長さの関数としてこの強度発振の測定値から直接得ることができる。そしてこの情報から他のある波長におけるマップを抽出できる。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 光ファイバスパン内の色分散をマッピングする方法において、

(A) 第1波長の第1光学信号と第2波長の第2光学信号とを同時に光ファイバの第1端内に放射するステップと、

これにより前記第1波長の光子と前記第2波長の光子とを結合する4波ミキシングプロセスによりブローブ信号を生成し、

(B) 前記ブローブ信号のサンプル内の強度発振の周波数を、前記光ファイバの距離の関数として測定するステップと、

(C) 前記第1波長と第2波長の少なくとも一方に対し、前記(B)の測定ステップにより得られた測定値から色分散パラメータを光ファイバの長さの関数として得るステップとからなることを特徴とする光ファイバスパン内の色分散をマッピングする方法。

【請求項2】 前記ブローブ信号は、ストーク(Stokes)信号であることを特徴とする請求項1の方法。

【請求項3】 前記第2波長は、第1波長よりも短く、前記第1波長と第2波長のパワー比率は約1:2であることを特徴とする請求項2の方法。

【請求項4】 前記ブローブ信号は、アンチストーク(anti-Stokes)信号であることを特徴とする請求項1の方法。

【請求項5】 前記第1波長は、第2波長よりも短く、前記第1波長と第2波長の間の注入パワー比率は約2:1であることを特徴とする請求項4の方法。

【請求項6】 色分散パラメータが前記第1波長と第2波長の各々に対し得られ、

(D) このようにして得られた2つの色分散パラメータの間の差から三次分散パラメータを計算するステップをさらに有することを特徴とする請求項1の方法。

【請求項7】 前記(B)の測定ステップは、光ファイバの第1端におけるブローブ信号のレーレイ後方散乱サンプルを観測することにより行われることを特徴とする請求項1の方法。

【請求項8】 前記(B)の測定ステップは、ブローブ信号の複数の側面散乱サンプル(side-scattered samples)を観測することにより行われることを特徴とする請求項1の方法。

【請求項9】 前記第1と第2の波長は、テスト用光ファイバのスパンのゼロ分散の最短予測波長よりも短いことを特徴とする請求項1の方法。

【請求項10】 前記(A)の放射ステップは、前記第1と第2の波長でもってパルスを送り返し放射することを含むことを特徴とする請求項1の方法。

【請求項11】 光ファイバスパン内の色分散をマッピングする装置において、

(A) 第1波長の第1光学信号と第2波長の第2光学信

号とを同時に光ファイバの第1端内に放射する光学信号生成装置と、これにより前記第1波長の光子と前記第2波長の光子とを結合する4波ミキシングプロセスによりブローブ信号を生成し、

(B) 前記ブローブ信号のサンプル内の強度発振の周波数を、前記光ファイバの距離の関数として測定する測定装置と、からなり、

前記第1波長と第2波長の少なくとも一方に対し、色分散パラメータを光ファイバの距離の関数として得ることを特徴とする光ファイバスパン内の色分散をマッピングする装置。

【請求項12】 前記ブローブ信号は、ストーク(Stokes)信号であることを特徴とする請求項11の装置。

【請求項13】 前記第2波長は、第1波長よりも短く、前記第1波長と第2波長のパワー比率は約1:2であることを特徴とする請求項12の装置。

【請求項14】 前記ブローブ信号は、アンチストーク(anti-Stokes)信号であることを特徴とする請求項11の装置。

【請求項15】 前記第1波長は第2波長よりも短く、前記第1波長と第2波長の間の注入パワー比率は約2:1であることを特徴とする請求項14の装置。

【請求項16】 前記(B)の測定装置は、光ファイバの第1端におけるブローブ信号のレーレイ後方散乱サンプルを受信するよう動作することを特徴とする請求項11の装置。

【請求項17】 前記第1と第2の波長は、テスト用の光ファイバのスパンのゼロ分散の最短予測波長よりも短いことを特徴とする請求項11の装置。

【請求項18】 前記第1と第2の光学信号は、パルスであることを特徴とする請求項11の装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、光ファイバ通信に関し、特に光ファイバの色分散をマッピングするシステムと方法に関する。

【0002】

【従来の技術】光ファイバの色分散は、複数のカスケード接続を行う光ファイバシステムのデザインに対し、重要な役目を果たす。エルビウムドープの光ファイバ増幅器の出現までは、システムは多かれ少なかれ線系であった。したがって、光ファイバのスパンに亘って、システム性能に影響を及ぼすものは、積み重なった分散だけであった。長距離に亘る伝送容量の要求を満たすために、光信号の高度の処理が必要となるにつれて、光ファイバの非線形性の影響を最少にするおよび/または利用するために分散「マップ」が選択されるような分散管理がますます重要なツールとなりつつある。

【0003】分散シフトファイバ(dispersion-shifted fiber(DSF))においては、分散は光ファイバの場

所の関数として変化することが知られている。K. Inoue 著の論文 "Four-Wave Mixing in an Optical Fiber in the Zero-Dispersion Wavelength Region", (J. Light wave Technol., Vol. 10, pp. 1553-1561 (1992)) によれば、例えばDSFの10km長さを2.5kmの小区間の4個に分割すると、この小区間に対する平均的なゼロ分散波長は、少なくとも1nm変化し、これはあるアプリケーションにとっては大きな変動である。したがって、色分散の信頼性あるマップは、光ファイバのスパン内の平均的分散を測定するだけでは得ることができない。

【0004】そのためレーレイ後方散乱技術(Rayleigh backscattering technique)を用いて、光ファイバのスパンに沿って色分散の分布をマッピングすることが提案されている。ゼロ分散が光ファイバのコアのサイズに依存することに基づくこの分解的技術(destructive technique)は、M. Ohashi, M. Tateda著の論文 "Novel Technique for Measuring the Distributed Zero-Dispersion Wavelength of Optical Fibers", (Electron Letters, 29, 426-428 (1993))に記載されている。

【0005】光ファイバプリフォームのドーピングがその全長に亘って、変化しない場合にはゼロ分散の変化は、コアサイズの変化から推論できる。このコアサイズの変化は、レーレイ後方散乱光(Rayleigh backscattered light)に対する捕獲比率を決定するために、光学時間領域反射率測定法(optical time domain reflectometry (OTDR))を用いて予測することができる。反対方向で得られたOTDRの測定結果を加算することにより、光ファイバの損失の影響を取り除き、捕獲比率の変化を観測してその変化を用いてゼロ分散ファイバの変動を決定できる。

【0006】近年ゼロ分散よりも長い波長における変調-不安定-導入ゲイン(modulation-instability-induced gain)から局所的分散ゼロを決定する非分解的(non-destructive)分散測定法が発表された。波長 λ_p の強いポンプパルスと波長 λ_s の弱い信号パルスとが同時にテスト用ファイバに注入され、そしてこの λ_p と λ_s の波長差は約5~10nmである。この後方散乱された信号光がOTDRにより観測される。ポンプ波長がゼロ分散に近いが、異常分散領域にある場合には、変調の不安定性がプローブパルスに対し、OTDRトレースで観測されるゲインを与えてしまう。

【0007】かくして、ある特定の距離におけるOTDRの光ファイバ内への傾斜の減少は、ポンプ信号は光ファイバ内のその点における異常分散の影響を受けていることを意味する。ファイバの分散をマッピングするために、ポンプ波長とプローブ波長とは、 $\lambda_p - \lambda_s$ の差を一定に維持しながら掃引され、その結果得られたOTDRトレースが記録される。光ファイバ内の特定ポイントのゼロ分散は、変調-不安定ゲインが観測されるポンプ波

長の短波長側である。この技術は、0.2nmの波長解像度と約1kmの空間解像度を示す。

【0008】現在提案されている別の技術は、ゼロ分散を決定するために、部分的に縮退した4光子ミキシングを用いている。本質的にこのミキシングは、光ファイバ内を伝播する角周波数が ω_p と ω_s がポンプ波と信号波からアイドルな波(idler wave)を生成する。周波数 $\omega_i = 2\omega_p - \omega_s$ のこのアイドル波のパワーは、処理が位相マッチングしたとき、即ち $\Delta\beta = 2\beta(\omega_p) - \beta(\omega_s) - \beta(\omega_i) = 0$ の時に最大となる、ここで $\beta(\omega)$ は伝播定数である。一次近似として位相マッチングは、 ω_p が光ファイバのゼロ分散に設定されたときに発生する。

【0009】このため ω_p を回転し、アイドルパワーの最大値を探すことによりゼロ分散波長を測定できる。最少識別距離(distance resolution)は、大幅に分離した波長の信号パルスとポンプパルスを用いることにより得られる。特にポンプパルスと信号パルスの群速度の差によりポンプパルスは、信号パルスを追い越してしまう(ポンプ波長は光ファイバのゼロ分散に近いものと仮定すると)。十分な群速度分散と、十分な短パルスでもってパルスのオーバーラップ領域は、ある有益な距離で発生する。その結果 ω_p と ω_s のパルスのタイミングを調整することによりこのオーバーラップは、光ファイバ内のある所望点で発生する。

【0010】

【発明が解決しようとする課題】上記に述べた従来技術でもゼロ分散波長を測定することができる。しかし、従来技術はかなり広い波長範囲に亘ってデータを集めその結果たった1つの分散マップを作るための測定は長時間を要する。さらに、測定されるべきファイバの両端にアクセスする必要がある。したがって本発明の目的は、色分散パラメータを光ファイバのある区間の距離の関数として測定するシステムと方法を提供することである。

【0011】

【課題を解決するための手段】本発明の一実施例によれば、第1と第2の光パルスをテスト用ファイバに繰り返し注入して、ファイバ内の4波ミキシングプロセスによりプローブ信号を生成する。波ベクトル位相ミスマッチにより、プローブ信号のパワーは、光ファイバ内の距離の関数として測定できる空間周波数をもって発振する。この強度発振は、光ファイバの入力端で検知できるレーレイ後方散乱光内の時間的変動として測定できる。本発明によれば、第1と第2の光信号波長の一方あるいは双方の分散パラメータは、光ファイバの長さの関数としてこの強度発振の測定値から直接得ることができる。そしてこの情報から他のある波長におけるマップを抽出できる。

【0012】

【発明の実施の形態】本発明によれば、固定波長 λ_s 、

λ_2 の強いマイクロ秒以下のパルスが同時にテスト用のファイバ内に注入され、その結果これらパルスはファイバの各部分内にシーケンシャルにストーク (Stokes) 波長 λ_s とアンチストーク (anti-Stokes) 波長 λ_a のそれぞれの FWM プロダクトフィールドを生成する。

【0013】このようにして生成されたプローブ信号内の強度発振の周波数を測定することにより、詳細な分散マップ $D(\lambda_1, z)$ が直接得られる。ここで、 D は分

$$k(\omega) = k_0 + \frac{\delta k}{\delta \omega} (\omega - \omega_0) + 1/2 \frac{\delta^2 k}{\delta \omega^2} (\omega - \omega_0)^2 + \dots \quad (1)$$

ここで、 k_0 と全ての微分は、(任意の) 周波数 ω_0 での値である。 ω に関連する分散関係式の 1 次微分は逆群速度であり、その 2 次微分は対応する分散である。分散

$$D(\lambda) = \frac{\delta}{\delta \lambda} \frac{\delta k}{\delta \omega} = -\frac{2\pi c}{\gamma^2} \frac{\delta^2 k}{\delta \omega^2} (\omega \rightarrow \lambda) \quad (2)$$

【0015】4波ミキシングプロセス

基本的に本発明は、分散パラメータ $D(\lambda_1)$ は、図 1 に示された 2 つの 4 波ミキシングプロセスの一方の波長ベクトルのミスマッチに正比例するという発明者の知見に基づいている。この第 1 のミキシングプロセスでは、まず角度周波数 ω_1 の 2 つの光子は、角度周波数 ω_2 の 1 つの光子と組み合わせられて ω_s のストーク (Stokes) フォトン形成する。

【0016】これとは対称的に第 2 のミキシングプロセスにおいては、角度周波数 ω_2 の 2 つの光子が角度周波数 ω_1 の 1 つの光子と組み合わせられて ω_a のアンチストーク (anti-Stokes) の光子を形成する。このためエネルギー変換の為に、図 1 の全てのスペクトラム項は、 $\delta \omega$ で均一に離間している。

【0017】この 4 波ミキシングの原理に関する詳細な説明は、本発明者らの論文 "Pseudo-phase-matched four-wave mixing in soliton WDM transmission", Opt. Lett. 21, 396 (1996) を参照されたい。

【0018】波長ベクトルミスマッチ

前述の第 1 と第 2 のミキシングプロセスにおける波ベクトルミスマッチ δk は、それぞれ分散パラメータ $D(\lambda_1)$ と $D(\lambda_2)$ に正比例している。例えば、第 1 ミキシングプロセスの場合には、この波ベクトルミスマッチは、次式に示すように分散パラメータ $D(\lambda_1)$ に関連づけられる。

【数 3】

散パラメータで、 λ_1 は使用される前述した 2 つの固定波長ソースの一方の波長であり、 z は光ファイバに沿った特定点までの距離を表す。本発明により詳細な分散マップを得るために用いられる代表的システムを説明する前に関連する基本的原理を簡単に述べる。

【0014】色分散

光ファイバの分散関係式は、次式で表される。

【数 1】

パラメータ D は逆群速度の波長微分である。

【数 2】

$$\delta k(\lambda_1) = k_2 + k_3 - 2k_1 = \frac{\partial^2 k}{\partial \omega^2} \delta \omega^2 = -2\pi c D(\lambda_1) \left(\frac{\delta \lambda}{\lambda} \right)^2 \quad (3)$$

【0019】(3) 式の最終形式は、正確なものであるがその理由は、本発明の方法によれば、条件 $\delta \omega / \omega = -\delta \lambda / \lambda \ll 1$ は、常に満足されるからである。三次分散 $\delta^3 k / \delta \omega^3 : \delta D / \delta \lambda$ が寄与する (3) 式内の正味項は、理想的にはゼロである。より高次の分散の影響は、常に理想的にはゼロではないが無視し得る。その理由は、微分の大きさと $\delta \lambda$ が小さいためである。

【0020】信号パワーの計算

前述したように本発明の方法は、2 つの光信号を放射し、それにより光ファイバの各部分に連続的にストーク波長 λ_s とアンチストーク波長 λ_a で、それぞれの AFWM プロダクトフィールドを生成する。前述の位相ミスマッチ (δk) の為にストーク信号 $P_s(z)$ の対応するパワーは、次式で表される空間周波数でもって発振する。

【数 4】

$$F_s = 1/\Lambda_s = \frac{\delta k}{2\pi} = cD(\lambda_1) \left(\frac{\delta \lambda}{\lambda} \right)^2 \quad (4)$$

【0021】したがって、ストーク信号のパワー内の強度発振の周波数 $F_s(z)$ を測定することにより、空間解像度 Λ_s を有する分散マップ $D(\lambda_1, z)$ を得ることができる。当然のことながら、同時にアンチストーク信号のパワー内の強度発振の周波数 $F_A(z)$ を測定することにより、分散マップ $D(\lambda_2, z)$ を得ることもできる。

【0022】その結果、テスト用の光ファイバ内に入射された信号の一方、あるいは両方に対する正確な分散マップは、本発明の教示を適用することにより容易に得る

$$f_{nr}(t) = \frac{c}{2n} F_s(z)$$

ここで n は、光ファイバの有効屈折率で、 t は光ファイバの入力点からある点 z に行き、そして戻るまでの周回時間即ち次式で表される。

$$t = \frac{2nz}{c} \quad (6)$$

$$D(\lambda_1, z) = \frac{2n}{c^2} \left(\frac{\lambda_1}{\delta \lambda} \right)^2 f_{nr}(t = \frac{2n}{c} z)$$

以下に詳述するように、(7)式により示される周波数は、通常数十から数百kHzの範囲内にある。

【0025】光ファイバの公知の損失と散乱特性と前述の4波ミキシングプロセスを理解することにより、レーレイ後方散乱された信号の強度を予測できる。 λ_1 と λ_2

$$P_s(z) = 8 \left(\frac{\lambda}{Dc\delta\lambda^2} \right)^2 \left(\frac{n_2 P_1^0}{A_{eff}} \right)^2 P_2^0 \sin^2(\delta k z / 2) \times R \delta z \times \exp(-4\alpha z) \quad (8)$$

【0026】上記と同様の式がアンチストーク波長 λ_A の信号パワー $P_A(z)$ についても得られる。(8)式中 P_1^0 と P_2^0 は、光ファイバの入力点におけるパルスパワーであり、 A_{eff} は光ファイバのコアの有効面積で、 n_2 は非線形屈折率係数(n_2 はシリカ製ガラスファイバに対しては $2.7 \times 10^{-8} \text{ m}^2/\text{W}$)で、 R はレーレイ後方散乱係数で、 δz はある所定時間におけるパルスにより占有される光ファイバ長で、 α は光ファイバの損失係数である。

【0027】指数関数の損失項内の4の倍率は、(1) $P_1^2 P_2$ の積は $\exp(-3\alpha z)$ で減少し、(2)光ファイバの所定点 z におけるレーレイ後方散乱は、光ファイバ入力に戻る際に $\exp(-\alpha z)$ のさらなる損失係数を受けるという事実から派生している。(8)式から1Wのオーダーのパルス入力パワー(P_1^0 と P_2^0)においては、数十km長さまでの光ファイバのスペンを測定するのに十分な信号強度が存在する。

【0028】次に図2において、長距離伝送用の現在の

ことができる。さらにまた3次分散定数(分散マップ $D(\lambda_1, z)$ 、 $D(\lambda_2, z)$ の測定値を比較することにより容易に決定できる)を知ることにより、測定された分散マップのいずれかは他の所望のいずれにでも容易に変換できる。

【0023】様々な技術を用いて前述の強度発振を測定できる。例えば、この強度発振は、テスト用ファイバの入力端におけるレーレイ後方散乱現象にも観測できる。信号は次式の時間周波数で変動する。

$$\text{【数5】} \quad (5)$$

【0024】屈折率が1.46に対しては、 δt は1kmの光ファイバに対して $9.73 \mu\text{s}$ である。式(4)と(5)を組み合わせると分散マップは、波長 λ_1 の第1入力信号に対して得られる。

【数7】

(7)

λ_2 の入力パルスが同極性であり、 λ_s と λ_A の初期信号が存在しない場合にはストーク波長 λ_s における信号パワーは、次式で表される。

【数8】

ところ最大の関心事である波長のバンド幅は、1552と1560nmの間にあるエルビウムファイバ増幅器の広領域で平坦なゲインピークに対応している。「分散がテーバー状」のファイバスペンを用いるソリトン伝送においては、ゼロ分散の波長 λ_0 は約1542から1553nmの間の範囲内にあり、「ノンリターントゥゼロシステム」("non-return-to-zero systems" (NRZ))においては、 λ_0 は幾分長めの波長のところにある。

【0029】いくつかの理由により入力波長、即ち測定用波長 λ_1 、 λ_2 は、 λ_0 に対する最短の予測値の短波長側にあるのが必要ではないが望ましい。例えばこの関係により、それぞれのパワーレベルに係わらず「変調の不安定性(modulational instability)」が存在しなくなる。1Wに近づくパワーレベルにおいては、このことは λ_1 と λ_2 が λ_0 より大きい場合には当てはまらない。さらに信号は、分散パラメータ D の符号には依存していないので、分散マップは、 $D=0$ の側に常にない限り不明確となる。最後に空間解像度は、 $D(\lambda_1)$ が

ゼロに近付くにつれて不明瞭となる。

【0030】さらに本発明によれば、例えば λ_1 と λ_2 は図2に示すように、エルビウムドープ増幅器のゲインピークである1530nmの近傍にあるよう選択された場合に優れた効果が得られる。当然のことながら問題となっている波長バンド幅が、 λ_0 に対する最短の予測値のさらに短波長側でない場合には、 λ_0 のバンド幅が例えば1515nmを中心とするような一般的な場合ではないが測定波長信号の入力パワーレベルは、変調不安定性のしきい値以下、即ち約200mw以下に低減しなければならない。別法として異なる特性ゲインカーブを有する増幅器を用いることもできる。

【0031】波ベクトルミスマッチ δk に対しては、非線系の寄与分が存在し、一次（ストーク）のミキシングプロセスに対するものは次式で与えられる。

【数9】

$$\delta k_{\omega} = \gamma(2P_1 - P_2) \quad (9)$$

二次（アンチストーク）ミキシングプロセスに対しても同様の式（添え字1, 2をちょうど逆にしたもの）が得られる。（9）においては、 γ は次式で与えられる。

【数10】

$$\gamma = \frac{2\pi n_2}{\lambda A_{eff}} \quad (10)$$

【0032】一次ミキシングプロセスに対しては、 $P_2 = 2P_1$ の場合には、 $\delta k_{\omega 1}$ はゼロである。同様に二次ミキシングプロセスに対しては、 $P_1 = 2P_2$ の場合には、 $\delta k_{\omega 1}$ はゼロである。しかし、これらの条件の一方が正確には満足されない場合でも $\delta k_{\omega 1}$ は、全ての分散パラメータDに対し、線系の δk の一部に過ぎず極めてゼロに近い。その理由は、 γ は非常に小さく、例えば $2.5W^{-1}km^{-1}$ である。ここで $A_{eff} = 50\mu m^2$ で、 λ は約1530nmとする。

【0033】図3において本発明の分散マップ測定システム10が示されている。同図において、固定入力信号 λ_1 、 λ_2 がそれぞれcwソース12、14により生成される。この実施例においては、cwソース12、14はそれぞれ1532.6nmと1536.15nmのパルスを与えるよう同調されたダイオードレーザとして構成されている（波長差は3.55nmである）。

【0034】この波長は単なる例示であり、これらは光パルス生成を含む光信号生成デバイスにより適宜生成できる。直交極性は潜在的に信号強度を十分に1以下に低減することができるので、cwソース12と14は同極性で十分な信号強度を提供するものとする。cwソース12、14に出力されたcw信号は、組み合わせられて位相変調器16に入力される。

【0035】必ずしも必要なことではないが、位相変調器は入力信号から、励起パルスの有限時間幅から発生する高周波（約1MHz）変調を取り除くのが好ましい。

この位相変調器の出力は増幅器18により増幅され、パルス生成器22に接続された音響光学変調器20がこのcwソースの出力を λ_1 のパルスと λ_2 のパルスに成形する。

【0036】音響光学変調器20の出力は光増幅器24に与えられる。この光増幅器24は、実施例ではエルビウムドープ（erbium doped fiber amplifier (EDFA)）である。光増幅器24は、パルス信号を1W近傍のピークパワーレベルにまで上げるのに十分なゲインを与える。光増幅器24の出力点におけるパルスパワーは、1Wのオーダーであるにもかかわらず、この増幅器の低デューティサイクルと、エネルギー蓄積性能により増幅器へのポンプパワーはわずか数十mwのオーダーが可能となる。

【0037】3ポート光学サーキュレータ26はこのパルスをFで示されたテスト用ファイバに入力し、可調受信装置28へのレーレイ後方散乱信号を検出する。図3に示された装置においては、この可調受信装置28はEDFAプレ増幅器30を有し、このEDFAプレ増幅器30は後方散乱された信号の後続の処理が可能となる十分なゲインを与える。所望の後方散乱信号（ストーク波長あるいはアンチストーク波長のいずれか）への同調は、検出用にある信号を光検出器34に通過させる可調狭バンド光学フィルタ32により行われる。

【0038】このような光学フィルタは、例えば20GHzのバンド幅と16nmの自由スペクトル領域のビエゾ同調ファブリペローエタロンを同調可能な1nmのバンド幅の干渉フィルタ（いずれも図示せず）でもってカスケード接続することにより構成される。光検出器34の出力は、バンドパスフィルタ36によりフィルタ処理され、増幅器37により増幅され、サンプリングオシロスコープ38に与えられる。

【0039】図4は、図3の装置を用いてテスト用のファイバの34.4km長の分散テーパ型的光ファイバから戻ってきた信号のサンプルを示す。このサンプルは、 $\lambda_s = 1539.70nm$ の信号電圧波形で、0.2秒以下の必要とされる全平均時間でもって数百回繰り返された平均である。高強度入力端は、0kmである。優れたSN比が光ファイバスパンの遠隔点でも観測された。

【0040】その原因の一部は、EDFAプレ増幅器30（図3）の入力点に示されたノイズを計算するのに用いられる狭い有効バンド幅に起因する。この狭い有効バンド幅は、連続した受信機内の2つのフィルタのバンド幅20GHzと250kHzの幾何平均から得られた70MHzである。同様な結果は、 $\lambda_s = 1529.05nm$ のアンチストーク信号波形についても得られる。

【0041】次に図5において、上記した同一の分散がテーパ状の光ファイバスパンのほぼ分散マップD（1557.2）を示す。これは、（1）ストーク信号と、

(2) アンチストーク信号から推論されたものと、

(3) 1557 nmの共通波長に変換されたものを示す。点線のカーブは理想的な指数関数のテーパーに適合する。同様な結果は、光ファイバを5個の小部分に分割する従来の分解的技術によっても得られる。

【0042】本発明の方法によって得られた結果は、従来の分解的検査方法の結果に比較して好ましいものである。即ち、従来の分解的検査方法は、図5の水平方向の実線で示されている。変換するために、三次の分散値が、ストーク信号とアンチストーク信号の比較から決定されたように用いられた。この三次の分散値は、スパン全体に亘って、厳密な意味で一定ではない。

【0043】図5に示された分散マップを決定するために、 λ_1 と λ_2 のポンプ光強度は、 λ_5 で測定するためにそれぞれ2:1の比率に、そして λ_4 で測定するために1:2の比率になるよう調整された。上記の(9)式から波ベクトルミスマッチへの非線系寄与分は、識別できなかった。この予測は、ネットポンプパワーが減少するにつれて2:1のパワー比が維持される限り、観測された周波数中にいかなる測定可能な変動もないことにより確認された。

【0044】

【発明の効果】以上述べたように、本発明の方法によれば、長い光ファイバスパンの分散マップを $\pm 0.03 \text{ ps/nm-km}$ 以上の精度で、且つ1 km未満の空間解像度をもって分散マップの測定が容易となる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明により用いられる4波ミキシングプロセ

スのスペクトラムを表す図

【図2】エルビウムドープの光ファイバ増幅器のゲインプロファイルに関連して、伝送用の最も試験可能なバンドと、分散パラメータマップの測定用に最も適した波長を表す図

【図3】本発明の一実施例による色分散特性の測定システムを表すブロック図

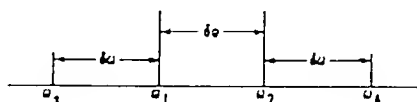
【図4】光ファイバの「分散がテーパ状」のスパンから戻った信号のいくつかのサンプルを表すグラフ

【図5】本発明の方法により得られた分散マップと従来の分解技法により得られた分散マップの比較を表す図

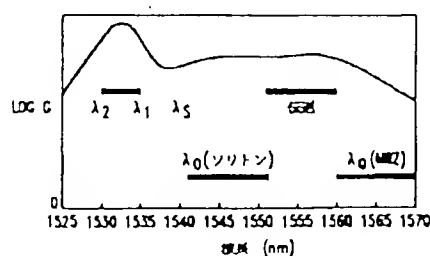
【符号の説明】

- 10 本発明の分散マップ測定システム
- 12 第1 cwソース
- 14 第2 cwソース
- 16 位相変調器
- 18 増幅器
- 20 音響光学変調器
- 22 パルス生成器
- 24 光増幅器
- 26 3ポート光学サーキュレータ
- 28 可調受信装置
- 30 EDFAプレ増幅器
- 32 可調狭バンド光学フィルタ
- 34 光検出器
- 36 バンドパスフィルタ
- 37 増幅器
- 38 サンプリングオシロスコープ

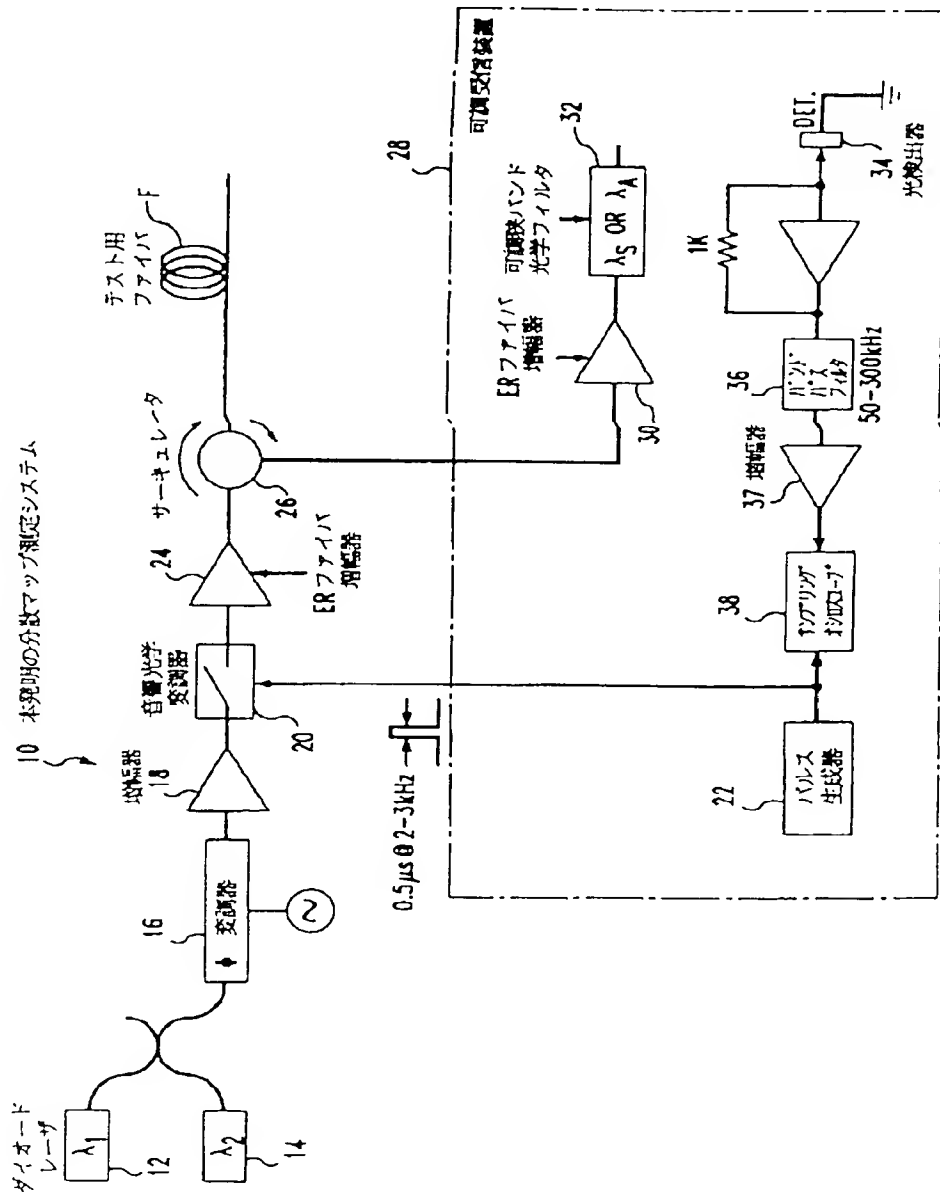
【図1】



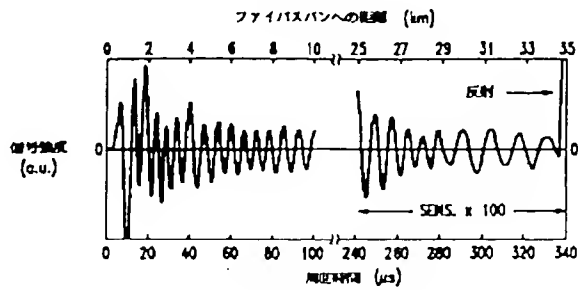
【図2】



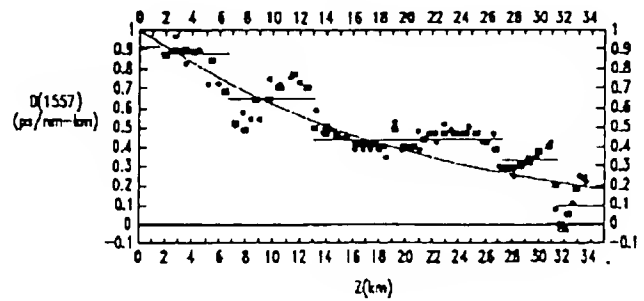
【図3】



【図4】



【図5】



フロントページの続き

(71)出願人 596077259
600 Mountain Avenue,
Murray Hill, New Je
rsey 07974-0636 U. S. A.

(72)発明者 リン フレデリック モレナウアー
アメリカ合衆国, 07722 ニュージャージ
ー, コルツ ネック, キャリッジ ヒル
ドライブ 11